



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 100 00 513 C 1

⑤① Int. Cl.7:  
B 60 L 13/10

②① Aktenzeichen: 100 00 513.6-32  
②② Anmeldetag: 8. 1. 2000  
④③ Offenlegungstag: -  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 13. 9. 2001

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Weh, Herbert, Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c., 38116  
Braunschweig, DE

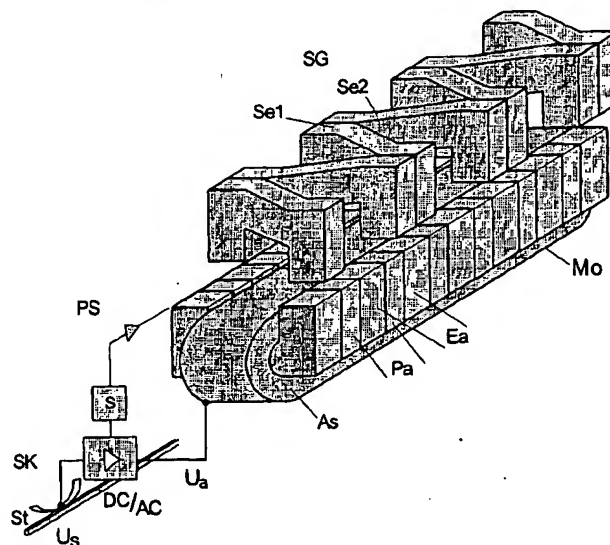
⑦② Erfinder:  
gleich Patentinhaber

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 41 14 706 C1  
DE 37 19 587 C2  
DE 23 26 871 C2  
DE 37 05 089 A1

⑤④ Vorrichtung zum magnetischen Antreiben und Tragen von Fahrzeugen

⑤⑦ Fahrzeug-Fahrgewegordnung mit im Querschnitt C-förmigen Schienen und Erregerteilen, die ebenfalls C-förmigen Querschnitt für die fließführenden Teile aufweisen, werden so konfiguriert, daß an einer Schiene sowohl Tragkräfte, Seitenkräfte als auch Vortriebs- bzw. Bremskräfte erzeugt werden können, und die das magnetische Feld für die Vortriebskräfte erzeugenden Spulen in ihrer Achse quer zur Bewegungsrichtung angeordnet sind. Im Falle der Kurzstator-Anordnung sind die wechselstromführenden Teile in den fahrzeuggebundenen Magneteinheiten untergebracht. Die Schienen werden zur Erzeugung der Vortriebskräfte in Längsrichtung im Polteilungs-raster gegliedert (s. Fig. 1).



BEST AVAILABLE COPY

DE 100 00 513 C 1

DE 100 00 513 C 1

## Beschreibung

Die Ausführung und Anordnung von trag- und vortriebskraftbildenden Komponenten eines Fahrzeug-Fahrweg-Konzepts hat großen Einfluß auf die Anwendbarkeit, Leistungsfähigkeit und die Wirtschaftlichkeit eines Verkehrssystems. Auch die Anwendbarkeit von magnetischen Weichen ohne bewegte Teile hängt von der Gestaltung der in Wechselwirkung befindlichen Bauteile von Fahrweg und Fahrzeug ab. Ein anderer wichtiger Punkt ist die Erzeugung der zur seitlichen Führung der Fahrzeuge notwendigen Kraft. Wie bereits in früheren Beiträgen beschrieben wurde, ist hierbei die Anwendung von C-förmigen Schienen in Verbindung mit ebenfalls C-förmig ausgeführten Magnetkreisteilen auf der Fahrzeugseite eine sehr günstige Voraussetzung. Sie erlaubt eine einfache geometrische Ausführung von Fahrweg und Fahrzeug. Es können mit ein und derselben Erregeranordnung sowohl die Trag- als auch die bei Auslenkung rückstellend (stabil) wirkenden Seitenkräfte erzeugt werden. Die Regelung beschränkt sich dann auf die Tragkraftstabilisierung. Den bisher veröffentlichten Vorschlägen ist jedoch nicht zu entnehmen, daß auch die Erzeugung von Vortriebs- und Bremskräften als dritte erforderliche Funktion über die Wirkungen des Magnetfeldes von C-förmigen Schienen übertragen werden kann.

Es besteht jedoch kein Zweifel, daß die Hinzunahme auch dieser dritten Funktion mit Blick auf eine einfache Ausführung von Schienenweg und Fahrzeug ein wichtiges Entwicklungsziel darstellt. Auch mit Blick auf die Ausführung einer starren Weiche kommt der Integration der dritten Kraftkomponente große Bedeutung zu. Hierbei wird auch das Ziel verfolgt, die im Fahrzeug unterzubringenden Komponenten für die erforderliche Ausführung der drei notwendigen Teilfunktionen so massearm und dabei so effizient und verlustarm wie möglich zu gestalten. Dem ersten Teilziel der Ausführung von massearmen Funktionseinheiten wurde in der DE 199 16 971.3-32 dadurch entsprochen, daß für die C-förmige Schienen-Magnetgestaltung mit Hilfe besonderer Maßnahmen im Magnetbereich sehr hohe Tragzahlen (Verhältnis von Tragkraft zu Gewicht der Erregerteile) erreicht wurden. Die Vortriebskraft mußte allerdings durch Anwendung einer Wechselwirkung zwischen einer gesonderten Schienenanordnung und einem besonderen Motorteil entwickelt werden. Es treten hierbei zusätzliche Bedingungen auf (Spalt der Antriebs Elemente größer als der Tragspalt), der durch Regelung annähernd konstant gehalten wird. Weiter ist eine erhöhte Komplexität der Anlage (Fahrzeug/Fahrweg) die Folge. Es soll weiter erwähnt werden, daß zu dem wichtigen Ziel der Antriebsintegration auch der Fragenkomplex gehört, der die zweckmäßige Ausführung einer Kurzstator-Variante umfaßt.

Anordnungen zur Führung des Fahrzeugs an C-förmigen Schienen ohne Antriebsfunktion sind z. B. in DE 37 19 587 C2 und DE 41 14 706 C1 enthalten.

In DE 23 26 871 C2 wird eine elektrische Maschine erläutert, die unter bestimmten Bedingungen sowohl abstoßende Tragkräfte als auch Vortriebskräfte nach Art einer Asynchronmaschine erzeugen kann, dies aber nur mit sehr ungünstigem Wirkungsgrad umzusetzen vermag. Ungünstig, weil kostenintensiv, wäre auch die Anwendung der Maschinen-Anordnung entsprechend DE 37 05 089 A1, bei der im Schienenelement Permanentmagnete eingesetzt sein mußten, wenn daraus ein Kurzstator-Linearmotor abgeleitet werden soll.

Erfindungsgemäß besteht die Aufgabe darin, Lösungen für die Formgebung von Schiene und Fahrzeugkomponenten anzugeben, die geeignet sind, ohne Nachteile für die Effizienz für Trag- und Seitenkrafterzeugung die Vortriebs-

kraftgenerierung in eine wenigstens auf einer Seite im wesentlichen C-förmig angelegte Schienen/Magnetgeometrie zu integrieren. Dabei sollte es möglich gemacht werden, daß alle drei Kraftkomponenten an einer Schiene in der gewünschten stellbaren Art entwickelt werden, so daß die regelungstechnische Stabilisierung der Tragkraft durch Elemente entlang der Schiene wirksam ist, und zusätzlich Elemente eingesetzt sind, die hauptsächlich der Vortriebskrafterzeugung dienen. Das Ziel muß nicht darin bestehen, daß alle verwendeten Schienen gleich ausgeführt sind und allen Funktionen in gleicher Weise dienen.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch die Merkmale des Anspruchs 1.

Durch eine ausführliche Beschreibung des erfindungsgemäßen Vorschlags werden alle wichtigen Zusammenhänge erläutert. Sie sind im übrigen durch 6 Figuren zusätzlich bildhaft dargestellt und im Zusammenhang mit dem Text erklärt 6.

Fig. 1 Zeichnung der Motoranordnung mit gegliederter C-Schiene und einsträngigem fahrzeuggebundenen Motorteil mit dessen Stromversorgung (Kurzstator-Variante).

Fig. 2 Ungegliederte C-Schiene mit Tragelement und dessen Stromversorgung (Stand der Technik).

Fig. 3 Gegliederte C-Schiene in Wechselwirkung mit einsträngigem Motorelement und Tragelement (hintereinander).

Fig. 4 Gegliederte und ungegliederte Schiene nebeneinander in Fahrbahn F und jeweils mehreren Motor- bzw. Tragelementen an zugehöriger Schiene.

Fig. 5 Ausführung des Erregerteils der Traganordnung mit beidseitiger Magnetisierung durch Permanentmagnet und Spule.

Fig. 6 Ausführung des Erregerteils einer Motoreinheit mit beidseitiger Magnetisierung durch eine einsträngige Ankerspule.

## Kurzstator-Variante

Mit Blick auf eine kostengünstige Fahrbahnausführung und verbesserte Gestaltungsmöglichkeiten für die Betriebsweise von Verkehrssystemen mit zahlreichen Zugeinheiten weist die Kurzstator-technik Vorteile auf. Im Vergleich zu den früheren Entwürfen von Magnetschwebezügen darf auch davon ausgegangen werden, daß die notwendige Leistungsaufbereitung auf den Fahrzeugen aus Gewichts- und Volumengründen selbst für hohe Geschwindigkeiten keine nennenswerten Probleme mehr bereitet. Es bleibt schließlich noch der die Energieübertragung zum Fahrzeug betreffende Problembereich. Die prinzipielle Lösbarkeit dieser Frage und zumindest eine praktikable technische Ausführung ist jedoch durch den Einsatz schneller Züge (auf der Basis des Rades) bereits demonstriert.

Anders als bei der Langstator-technik wird bei der fahrzeuggebundenen Vortriebsbildung der Ankerstrom in Spulen von (fahrzeugfesten) Motorelementen geführt. Die mit dem Schwebespalt identische Größe des Motorspalts zwingt allerdings mit Blick auf guten Wirkungsgrad zu einer Felderregung mit Hilfe von Permanentmagneten. Andererseits darf erwähnt werden, daß hierdurch der kleinste denkbare Motorspalt erreicht wird. Erfindungsgemäß wird als Schiene eine passive ferromagnetische (Eisen-)Schiene SG mit C-förmigem Querschnitt in gegliederter Form, wie in Fig. 1 gezeichnet, eingesetzt. Die Erregung erfolgt dann über eine ebenfalls C-förmig ausgebildete Erregereinheit bzw ein Motorelement Mo im wesentlichen quer zur Fahrbahn. Die Sammleranordnung ist durch Permanentmagnete Pa und durch ferromagnetische Elemente Ea erregt (mit abwechselnd polarisierten Magneten) gegliedert. Die Polansätze der

gegliederten Schiene SG finden sich im Abstand der Polteilung  $\tau$  auf verschiedenen Seiten der C-förmigen Anordnung und sind gebildet durch zwei spiegelbildlich geformte ferromagnetische Teile Se1 und Se2. Die Ströme der Spule As werden der Position des Teiles Mo gegenüber der Schiene SG entsprechend als Wechselstrom über einen DC/AC-Frequenzumrichter zugeführt. Die in Fahrtrichtung liegenden Spulenseiten führen den magnetisierenden Strom. Insoweit entspricht die Bauform des Motors dem Konzept des Transversalfußmotors.

Der Rhythmus des Aufschaltens der Halbschwingungen von  $U_a$  wird über die Sensorsignale von PS und der Steuereinheit S dem Frequenzumrichter vermittelt. Die Energiezufuhr erfolgt, wie am Beispiel von Fig. 1 dargestellt, über die Stromschiene St, deren Spannung  $U_s$  über den Schleifkontakt Sk dem Frequenzumrichter FU zur Verfügung steht. Die Größe der den Spulen zugeführten Spannung  $U_a$  bestimmt die Größe der Ströme in As und führt zu einem Schub, der im wesentlichen dem Strom proportional ist. Für die Größe der erzielbaren Kraft ist die Anwendung einer nicht zu großen Polteilung günstig. Ihre untere Grenze findet sich dort, wo die Verwirklichung der hohen Frequenzen die Ausführung des Frequenzumrichters erschwert, und die entstehenden Eisenverluste im Schienenbereich sich auf den Wirkungsgrad nachteilig auswirken.

Durch Motoranordnungen der erfindungsgemäß beschriebenen Art werden verhältnismäßig hohe Kraftdichten erzielt, wobei angenommen ist, daß die Erregung der Motorelemente durch Permanentmagnete Pa mit hohen Remanzinduktionen erfolgt. Wie in Fig. 1 gezeichnet ist, umschlingen die Spulen As eine größere Anzahl von Magneteinheiten. Da einsträngige Motoranordnungen einen stark schwankenden Schubverlauf zur Folge haben, ist die Kombination mehrerer Motoreinheiten Mo, deren Anordnung und Ströme räumlich bzw. zeitlich versetzt sind, eine sinnvolle Maßnahme. Der Ausgleich pulsierender Kraftanteile wird dann durch mechanische Verbindung dieser Motorelemente erzielt, s. h. z. B. Fig. 4.

Eine für Schub- und Tragkrafterzeugung sinnvolle Fahrzeuggestaltung entsteht, wenn die in Gestellen integrierten Schubeinheiten sowohl mehrere hintereinander angeordnete Motorelemente Mo als auch tragkraftbildende Erregerente T umfassen. Entsprechend Fig. 3 ist vereinfacht die Anordnung von je einem Schubelement Mo und Tragelement T in Wechselwirkung mit der gemeinsamen gegliederten Schiene SG gezeichnet. Beide Elemente sind zur Optimierung der jeweiligen Kraftkomponente ( $F_x$  bzw.  $F_y$ ) vorteilhaft ausgelegt. Das Schubelement erzeugt die Vortriebskraft  $F_x$  mit hoher tangentialer Kraftdichte, während das Tragelement T die Kraft  $F_y$  mit hoher Normalkraftdichte erzeugt.

Wie Fig. 4 zeigt, ist eine zweckmäßige Ausführungsform auch dann gegeben, wenn die gegliederte Schiene SG überwiegend zum Betrieb von Motorelementen Mo genutzt wird (gezeichnet Mo1 und Mo2) und die Tragelemente T1 und T2 parallel auf die nicht gegliederte C-Schiene SN wirken. Die Motoreinheiten Mo1 und Mo2 sind miteinander verbunden und z. B. entsprechend einem Längsversatz von  $\pi/2$  bzw.  $\alpha_2 = \alpha_1 + \pi/2$  mit um  $90^\circ$  verschobenen Strömen betrieben. Die Schienen SG und SN lassen sich nebeneinander in die Fahrbahn F (z. B. eine Seite) integrieren.

Für weichengängige Querschnittsvarianten wird zweckmäßig die zum Stützelement Gt symmetrische Erregeranordnung entsprechend Fig. 5 herangezogen. Auf die nebeneinander liegenden Schienen SG1 und SG2 wirken die vom Tragelement T in einer doppelseitigen Einheit erzeugten magnetischen Wirkungen. Sie werden in der Hauptsache von den Permanentmagneten PM hervorgerufen, umfassen aber auch den zur Stabilisierung notwendigen Anteil der Re-

gelspule Ts, deren magnetisierende Spulenseiten durch Ts' sowie Ts'' markiert sind. Für kurzzeitigen Betrieb innerhalb der Weiche ist links und rechts je eine Spule T1/T1' bzw. Tr/Tr'' eingesetzt. Durch dieses Spulenpaar kann eine Seite weitgehend entregt werden, während die Gegenseite in ihrer magnetischen Wirkung verstärkt wird. So kann beispielsweise die linke Seite kurzzeitig magnetisch unwirksam gemacht werden, während rechts Trag- und Seitenkräfte verstärkt werden. Auf Befehlsgabe aus dem Fahrzeug kann dieses in eine Abzweiglinie eingeleitet werden, ohne daß stationäre Teile des Fahrwegs verstellt werden müssen. Die stellbaren Ströme der Spulen T1 und Tr lassen sich auch zur Dämpfung seitlicher Bewegungen des Fahrzeugs einsetzen.

Es kann dabei als zweckmäßig erkannt werden, daß zur Vergrößerung vorhandener Seitenkräfte im Weichenbereich zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden.

Das beschriebene Verfahren der Vortriebsbildung an C-förmigen Schienenelementen mit transversalem Magnetkreis ist auch auf den aktiven Fahrweg für die Langstator-technik sinngemäß anwendbar. Es kann auch davon Gebrauch gemacht werden, daß bereichsweise anstelle der gegliederten Schiene SG die nicht gegliederte Variante SN mit graduellen Vorteilen für Trag- und Seitenkraft herangezogen wird. Für diese Schienenabschnitte muß dann auf die Erzeugung von Vortriebskräften verzichtet werden.

Daß auch für die Vortriebsbildung Motorelemente doppelseitig ausgeführt werden können, ist in Fig. 6 gezeichnet. Die Spulenordnung As bringt beide magnetisierenden Leiter As1 und As2 innerhalb des jeweiligen transversalen Magnetkreises zum Einsatz. Das magnetische Feld schließt sich über den Magnetkreis Ea1/SG1 bzw. Ea2/SG2. Es werden so Anteile der Wicklungsverluste reduziert und Massenanteile auf der Erregerseite eingeschränkt.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum magnetischen Antreiben von Fahrzeugen, mit einer fahrgewegseitigen passiven, C-förmigen gegliederten Schiene (SG) und einem fahrzeugseitigen Motorelement (Mo) mit Magneteinheiten aus abwechselnd aneinandergereihten C-förmigen Weichenelementen (Ea) und Permanentmagneten (Pa), wobei mehrere Magneteinheiten von einer Spule (As) in Längsrichtung umschlungen sind, wobei die Schiene (SG) und das Motorelement (Mo) einen einsträngigen Transversalfußmotor bilden, und die Vortriebskräfte über den Wechselstrom in der Spule (As) gestellt werden.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der ein zusätzlicher Tragkraft und Seitenführungskraft erzeugender Magnet (T) vorgesehen ist, der eine ferromagnetische C-förmige Schiene aufweist, wobei die Tragkräfte durch die spaltabhängig geregelten Gleichströme in einer Spule (Ts) stabilisiert werden.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Vortriebsbildung jeweils mehrere einsträngige Motorelemente (Mo) beitragen, deren Anordnung einen Polteilungsversatz aufweisen, und deren Phasenströme sich um eine entsprechende Phasenverschiebung unterscheiden und gleichzeitig die Tragkräfte in mehreren gleichartig aufgebauten Magneten (T) erzeugt werden.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1-3, dadurch gekennzeichnet, daß die zur Vortriebsbildung eingesetzten Motorelemente (Mo) so ausgeführt sind und betrieben werden, daß im Querschnitt einer Fahrzeugseite eine zweisträngige Motoranordnung mit einer Phasenverschiebung der Ströme um  $90^\circ$  entsteht.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2-4, dadurch gekennzeichnet, daß der Magnet (T) zur Tragkraftbildung für die Erzeugung des Magnetflußhauptanteils Permanentmagneten enthält, und die stromführende Spule (Ts) zweiseitig zur Magnetisierung genutzt und der Streufeldanteil weitgehend durch Permanentmagnete kompensiert wird. 5

6. Vorrichtung nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Motorelement (Mo) zusätzlich zur Erregung durch Permanentmagnete eine stellbare Stromerregung aufweist und einen regelbaren Normalkraftanteil zur Tragkraft beisteuert. 10

7. Vorrichtung nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnete (T) und/oder die Motorelemente (Mo) zur Ausbildung von starren Weichen symmetrisch zu einem Stützelement (Gt oder Ga) ausgeführt wird. 15

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

20

25

30

35

40

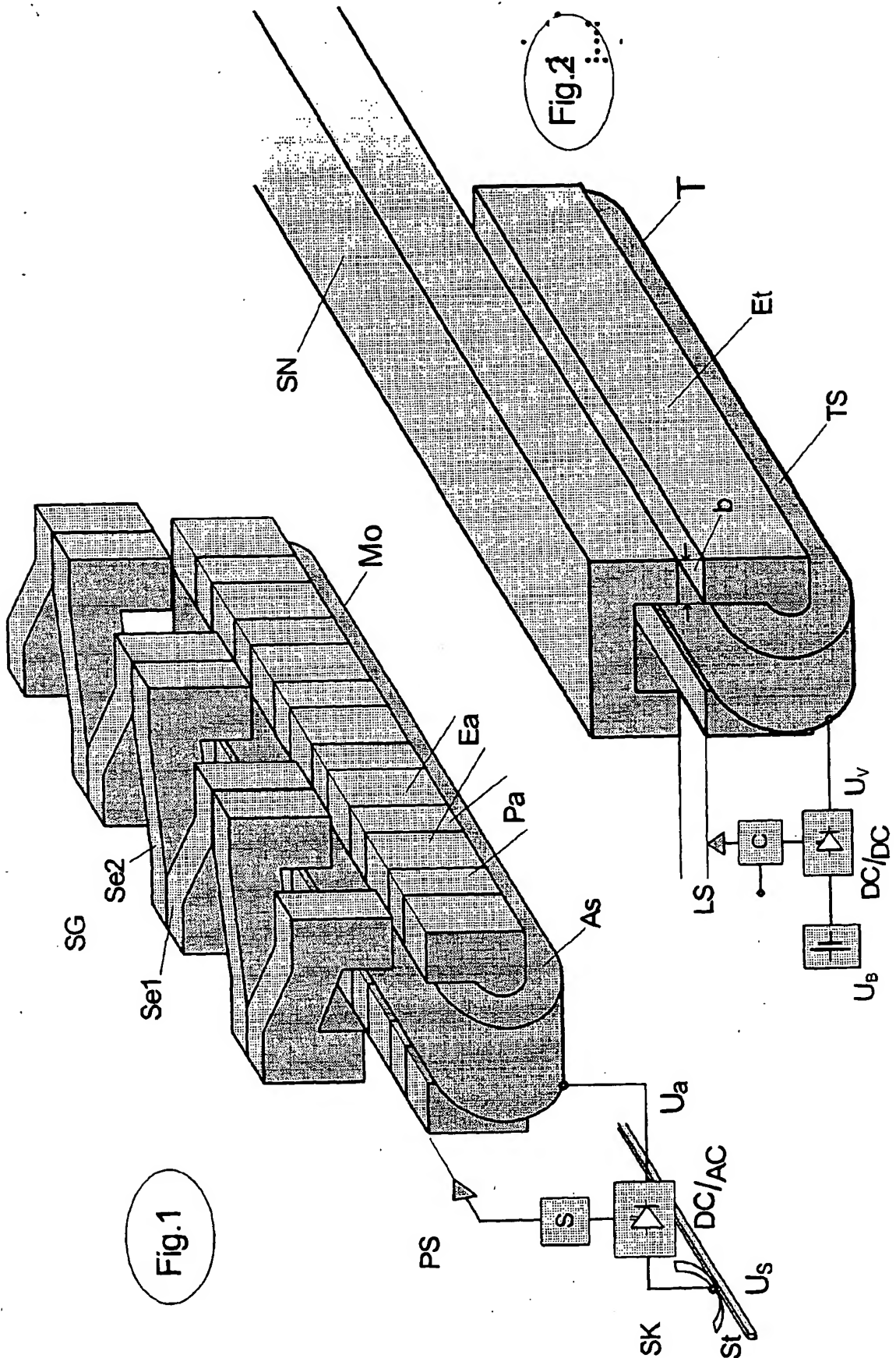
45

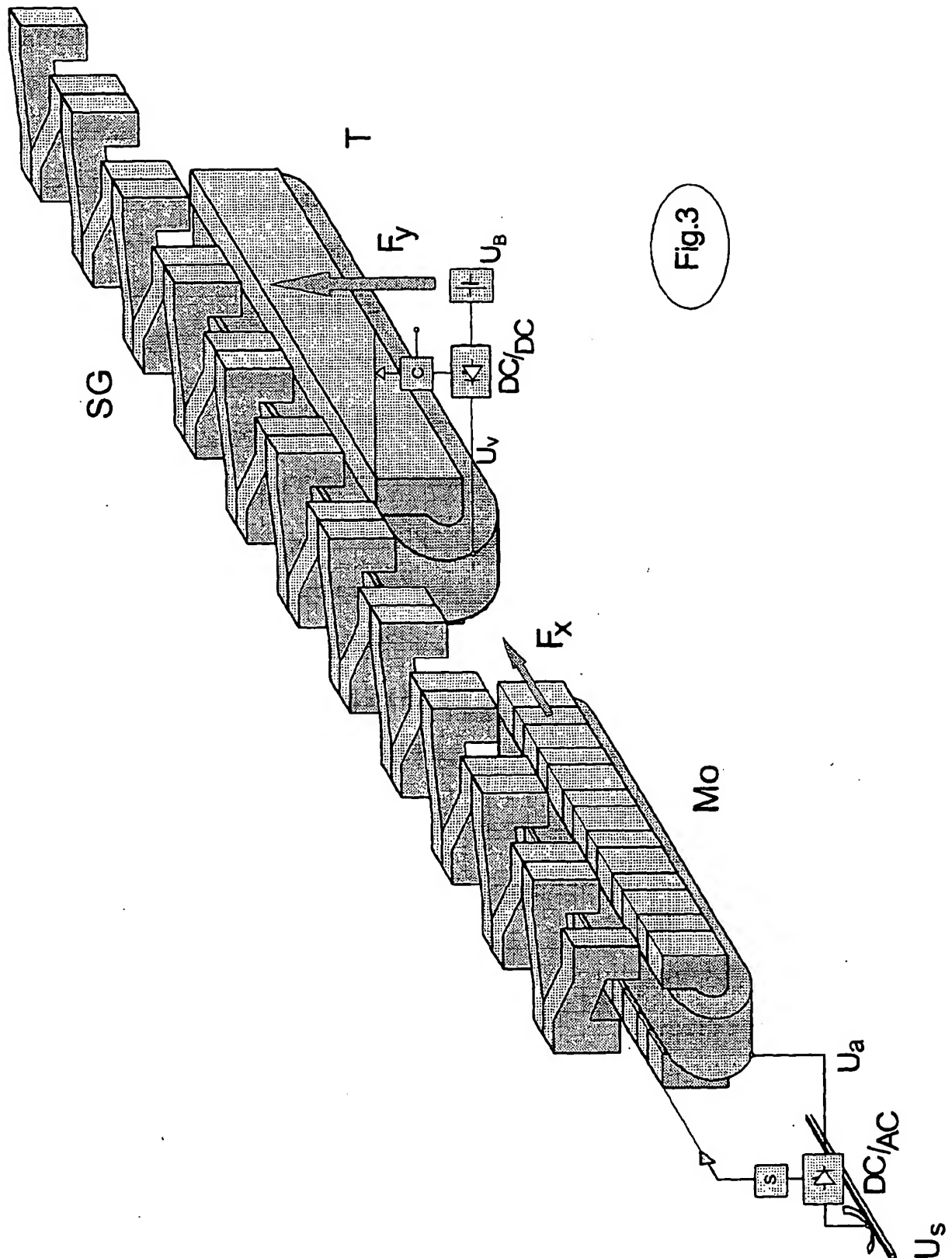
50

55

60

65





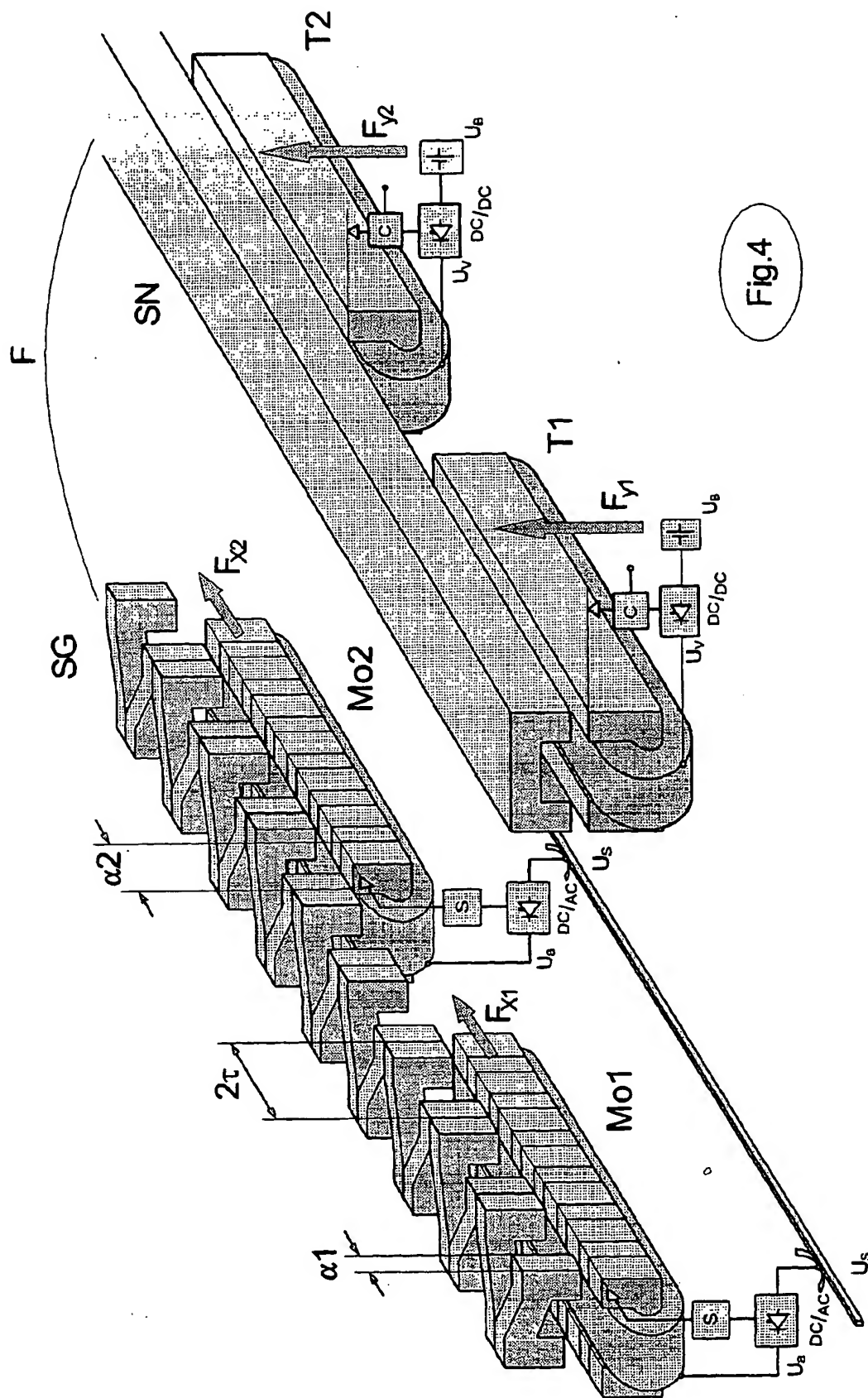


Fig.4



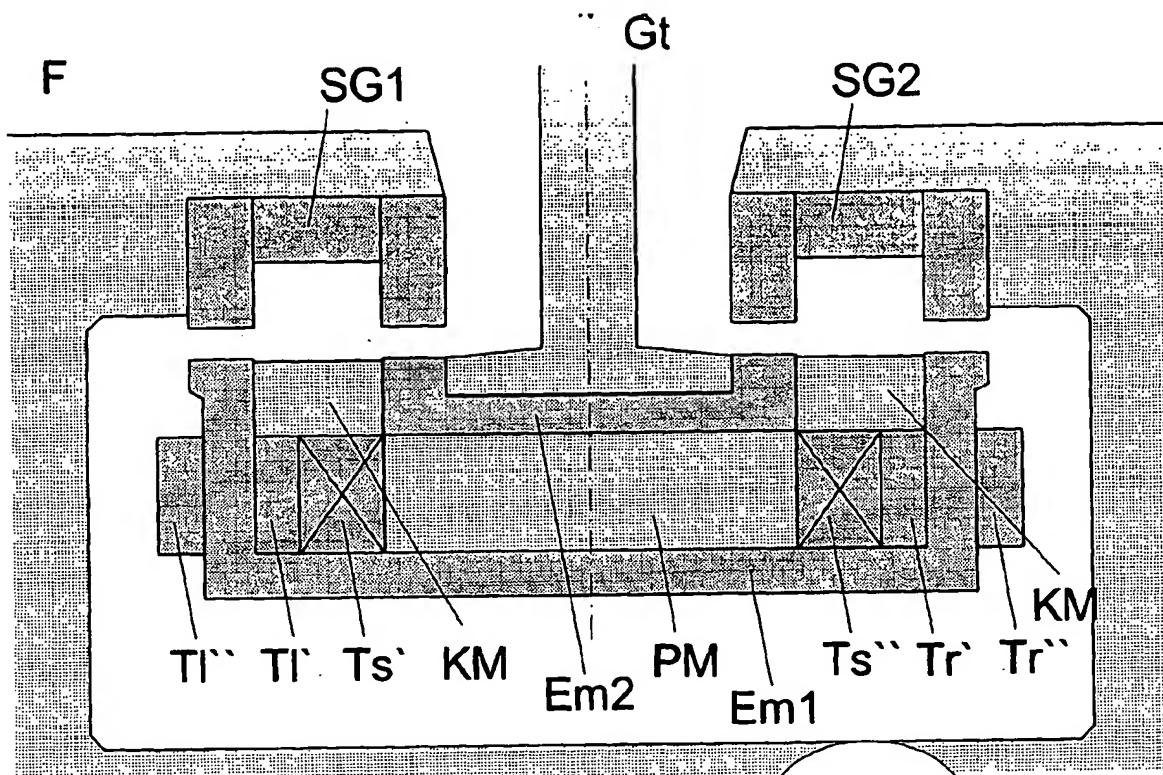


Fig.5

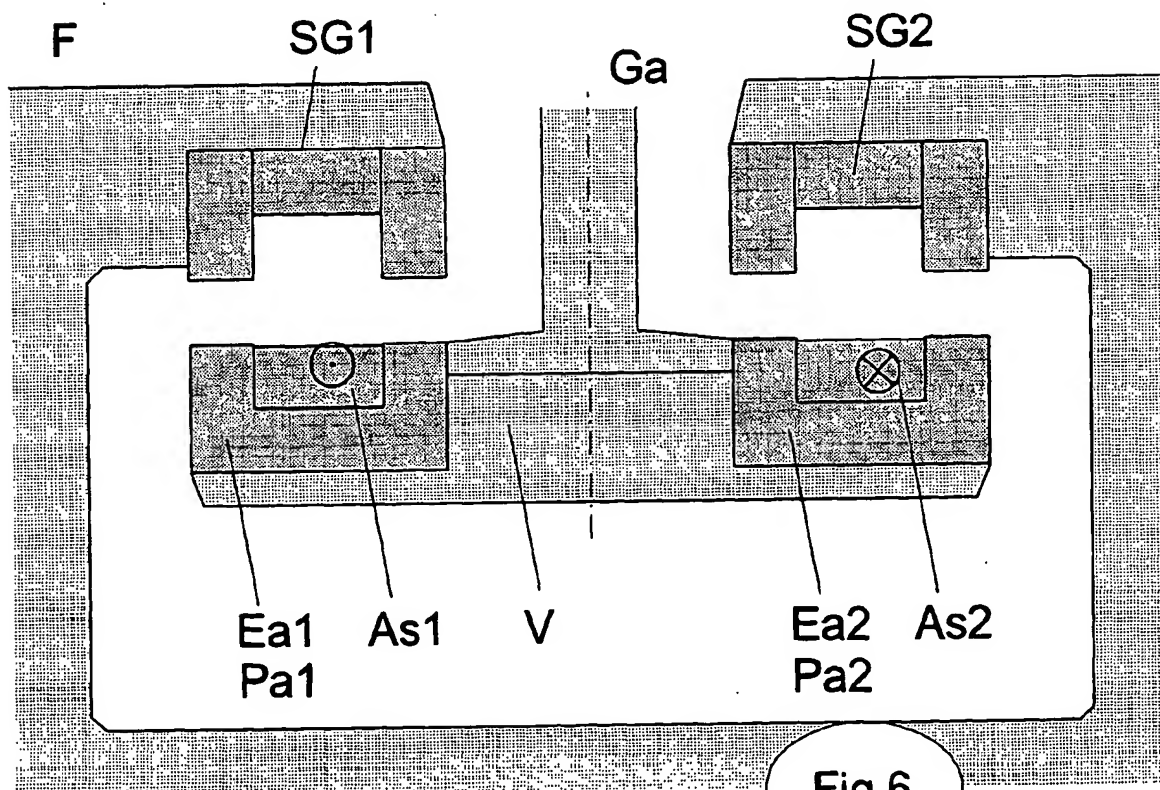


Fig.6